Mise en évidence de rayons X avec une chambre d'ionisation

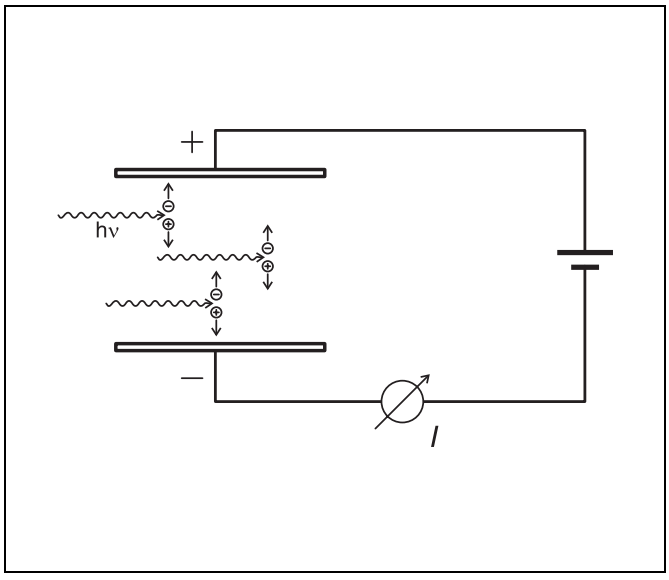
Objectifs expérimentaux

- Mise en évidence de rayons X avec une chambre d'ionisation remplie d'air et mesure du courant d'ionisation I_C.
- Etude de l'influence de la tension du condensateur U_C sur le courant d'ionisation I_C et mise en évidence de la caractéristique de saturation.
- Etude de l'influence du courant d'émission *I* du tube à rayons X sur le courant d'ionisation de saturation pour une haute tension *U* du tube constante
- Etude de l'influence de la haute tension *U* du tube sur le courant d'ionisation de saturation pour un courant d'émission *I* constant.

Notions de base

Les rayons X peuvent être mis en évidence grâce à leurs propriétés. C'est ainsi par exemple, qu'un film est noirci par des rayons X, que l'air et d'autres gaz deviennent électriquement conducteurs, que l'on observe l'effet photoélectrique sur des surfaces métalliques, que certaines substances dites fluorescentes présentent des phénomènes de luminescence. C'est l'ionisation des atomes ou des molécules dans la matière irradiée qui occasionne de tels phénomènes.

On profite de l'action ionisante pour la mise en évidence quantitative des rayons X en mesurant par ex. le courant d'ionisation dans un condensateur à plaques rempli d'air ou d'un autre gaz. Du fait de sa structure spatiale et de sa fonction, ce dispositif est aussi caractérisé de chambre d'ionisation.



Pour la mise en évidence des rayons X, un faisceau de rayons X pénètre, après son passage à travers un diaphragme, dans un condensateur à plaques, de manière à ne pas incider directement sur les plaques du condensateur. On évite ainsi que les résultats des mesures soient faussés par effet photoélectrique sur les plaques du condensateur. Les rayons X ionisent une partie du volume gazeux du condensateur. Si on applique une tension U_C sur le condensateur, les porteurs de charges, électrons ou ions, sont recueillis sur les plaques du condensateur. Un courant d'ionisation I_C dans le circuit électrique extérieur susceptible d'être mesuré via un amplificateur de mesure correspond au courant ainsi généré dans le condensateur.

Pour de basses tensions U_C, il y a toujours de moins en moins de porteurs de charges dans le volume de gaz qui se recombinent avec des valeurs croissantes de U_C et toujours de plus en plus de porteurs de charges sur les plaques du condensateur. Le courant d'ionisation I_C augmente par conséquent au fur et à mesure que la tension U_C augmente. Pour une nouvelle augmentation de U_C, I_C finit par atteindre une valeur de saturation étant donné que tous les porteurs de charges formés par le rayonnement incident pour une unité de temps sont saisis, à l'exception des pertes par recombinaison qui sont négligeables. Il est possible de déduire l'intensité du rayonnement X incident de cette valeur de saturation.

Matériel

1 appareil à rayons X		554 811
ou		
1 appareil à rayons X		554 812
1 condensateur à plaques X-ray		554 840
1 alimentation 450 V-		522 27
1 amplificateur électromètre		532 14
1 résistance STE, 1 GΩ, 0,5 W		577 02
1 voltmètre, CC, U ≤ 300 V, Résistance d'entrée 10 MΩ	par ex.	531 100
1 voltmètre, CC, U ≤ 10 V	par ex.	531 100
1 câble de mesure BNC/4 mm		575 24

Câbles d'expérience

Montage

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1. La fig. 2 montre le câblage électrique du condensateur à plaques et de l'amplificateur électromètre pour la détermination du courant d'ionisation.

Montage mécanique:

– Eventuellement démonter le collimateur de l'appareil à rayons X et enlever les dispositifs expérimentaux de la partie expérimentation de l'appareil à rayons X.
– Brancher le câble de mesure BNC/4 mm avec fiche BNC à la plaque inférieure du condensateur (douille BNC) et le câble d'expérience à la plaque supérieure du condensateur (douille de sécurité) du condensateur à plaques X-ray.

Conseils de sécurité

L'appareil à rayons X (554 811 ou 554812) respecte les consignes relatives à la construction d'un appareillage à rayons X pour l'enseignement et d'un appareil à protection totale et est homologué en tant que tel (d'après le règlement allemand sur les rayonnements X).

Grâce aux mesures de protection et de blindage incorporées par le constructeur, le taux de dose hors de l'appareil est réduit à moins de 1 μSv/h, une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

■ Avant la mise en service, s'assurer du bon état de l'appareil à rayons X et vérifier que la haute tension soit bien coupée à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
■ Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter une surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

■ A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier si le ventilateur dans la partie tube fonctionne.

– Soulever le condensateur à plaques dans la partie expérimentation de l'appareil à rayons X et insérer les pieds enfichables dans les douilles de fixation. S'assurer que les plaques du condensateur sont bien parallèles à la plaque de base de l'appareil à rayons X, et si nécessaire, les réajuster.
– Faire passer les deux câbles dans le canal vide jusqu'à ce qu'ils ressortent sur la droite de l'appareil à rayons X.

Montage électrique:

– Brancher le câble d'expérience au pôle positif de l'alimentation 450 V- et le câble de mesure BNC/ 4 mm à l'amplificateur électromètre équipé de la résistance 1 GΩ.
– Relier le raccord de mise à la masse de l'amplificateur électromètre au pôle négatif de l'alimentation 450 V-.
– Brancher respectivement un voltmètre pour la mesure de la tension du condensateur U_C et pour la mesure de la tension de sortie de l'amplificateur électromètre U_E.
– Brancher l'appareil à rayons X au réseau d'alimentation puis le mettre en route

Réalisation

a) Courant d'ionisation I_C en fonction de la tension du condensateur U_C:

– Régler un courant d'émission I = 1,0 mA.
– Sélectionner une haute tension du tube U = 15 kV puis enclencher la haute tension avec le bouton-poussoir HV on/off.
– Pour le relevé d'une série de mesures, augmenter pas à pas la tension du condensateur U_C de 0 V à 300 V et déterminer à chaque fois le courant d'ionisation I_C à partir de la tension U_E à la sortie de l'amplificateur électromètre:

$$I_C = \frac{U_E}{1\ G\Omega}$$

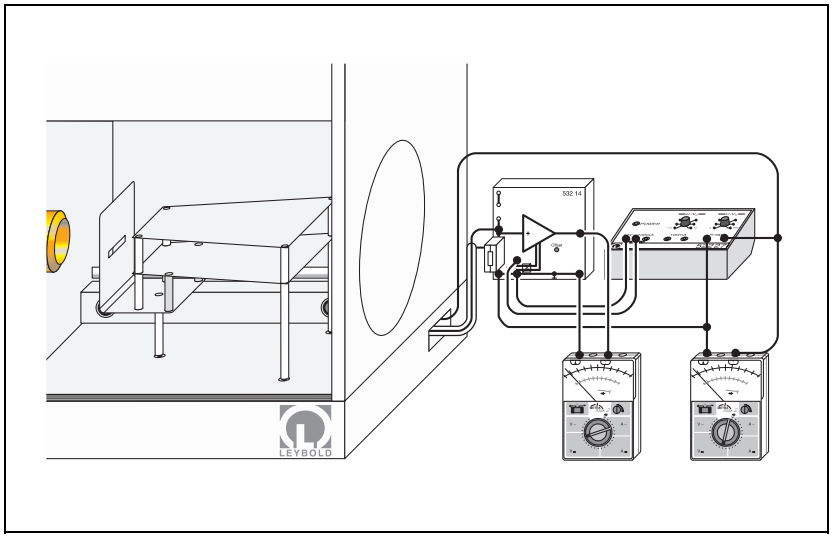
– Etablir un protocole des résultats de mesure.
– Augmenter la haute tension U du tube par pas de 5 kV jusqu'à 35 kV, répéter à chaque fois la série de mesures et réaliser un protocole des résultats de mesure (voir tab. 1).

b) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction du courant d'émission I:

– Régler une haute tension du tube U = 35 kV.
– Sélectionner la tension du condensateur $U_C \geq 140$ V de manière à ce que la valeur de saturation du courant d'ionisation I_C soit atteinte (cf. valeurs mesurées en a)).
– Augmenter pas à pas le courant d'émission I de 0 mA à 1 mA puis déterminer le courant d'ionisation I_C correspondant.
– Etablir un protocole des résultats de mesure.

c) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction de la haute tension du tube U:

– Régler un courant d'émission I = 1,0 mA.
– Sélectionner une tension du condensateur $U_C \geq 140$ V.
– Augmenter pas à pas la haute tension U du tube de 5 kV à 35 kV puis déterminer le courant d'ionisation I_C correspondant.
– Etablir un protocole des résultats de mesure.



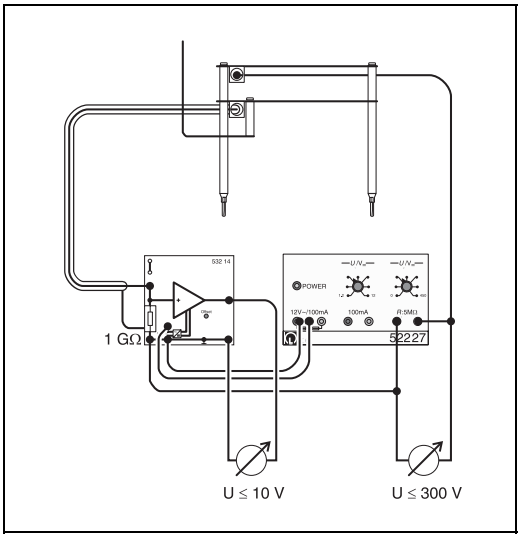


Fig. 1 Montage expérimental pour la mesure du courant d'ionisation dans un condensateur à plaques

Fig. 2 Câblage du condensateur à plaques et de l'amplificateur électromètre pour la détermination du courant d'ionisation

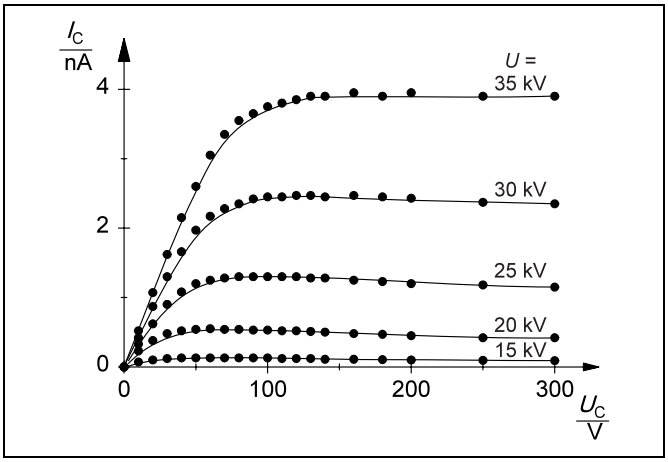
Exemple de mesure

a) Courant d'ionisation I_C en fonction de la tension du condensateur U_C:

Tab. 1: Courant d'ionisation I_C en fonction de la tension du condensateur U_C, hautes tensions du tube U_1 = 15 kV, U_2 = 20 kV, U_3 = 25 kV, U_4 = 30 kV et U_5 = 35 kV, courant d'émission I = 1,0 mA

$\frac{U_C}{V}$	$\frac{I_C(U_1)}{nA}$	$\frac{I_C(U_2)}{nA}$	$\frac{I_C(U_3)}{nA}$	$\frac{I_C(U_4)}{nA}$	$\frac{I_C(U_5)}{nA}$
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,07	0,23	0,33	0,42	0,52
20	0,10	0,38	0,62	0,87	1,07
30	0,12	0,48	0,90	1,30	1,62
40	0,13	0,52	1,08	1,66	2,15
50	0,13	0,54	1,20	1,97	2,60
60	0,13	0,55	1,25	2,17	3,05
70	0,13	0,54	1,28	2,28	3,35
80	0,13	0,54	1,30	2,35	3,55
90	0,13	0,53	1,30	2,42	3,65
100	0,13	0,53	1,30	2,45	3,75
110	0,12	0,52	1,30	2,45	3,80
120	0,12	0,52	1,30	2,47	3,85
130	0,12	0,51	1,28	2,47	3,90
140	0,11	0,50	1,28	2,45	3,90
160	0,11	0,48	1,25	2,47	3,95
180	0,11	0,47	1,23	2,45	3,90
200	0,10	0,45	1,20	2,43	3,95
250	0,095	0,42	1,18	2,37	3,90
300	0,090	0,42	1,15	2,35	3,90

Fig. 3 Courant d'ionisation I_C en fonction de la tension du condensateur U_C



b) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction du courant d'émission *I*:

Tab. 2: Valeur de saturation du courant d'ionisation I_C en fonction du courant d'émission *I* du tube à rayons X, haute tension du tube *U* = 35 kV

$\frac{I}{\text{mA}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$	$\frac{I}{\text{mA}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$
0,0	0,02	0,5	2,10
0,1	0,48	0,6	2,45
0,2	0,92	0,7	2,80
0,3	1,30	0,8	3,20
0,4	1,72	0,9	3,55
		1,0	3,90

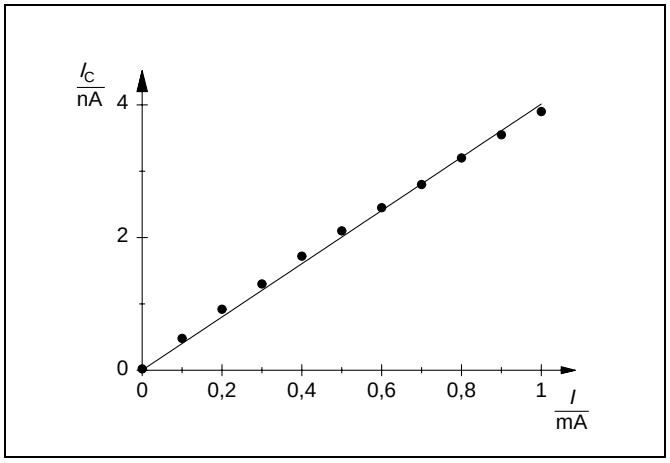


Fig. 4 Valeur de saturation du courant d'ionisation I_C en fonction du courant d'émission *I* du tube à rayons X

c) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction de la haute tension *U* du tube:

Tab. 3: Valeur de saturation du courant d'ionisation I_C en fonction de la haute tension *U* du tube, courant d'émission *I* = 1,0 mA

$\frac{U}{\text{kV}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$	$\frac{U}{\text{kV}}$	$\frac{I_C}{\text{nA}}$
5,0	0,02	20,0	0,49
7,5	0,02	22,5	0,81
10,0	0,02	25,0	1,25
12,5	0,03	27,5	1,82
15,0	0,10	30,0	2,40
17,5	0,26	32,5	3,10
		35,0	3,90

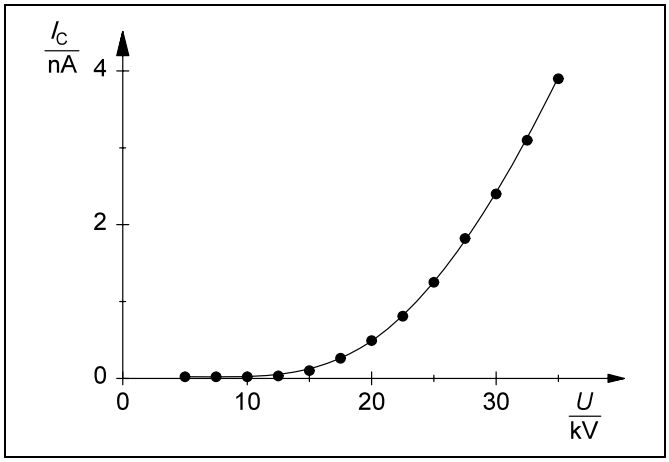


Fig. 5 Valeur de saturation du courant d'ionisation I_C en fonction de la haute tension *U* du tube

Exploitation

a) Courant d'ionisation I_C en fonction de la tension du condensateur U_C:

Pour une haute tension *U* du tube constante et un courant d'émission *I* constant, le courant d'ionisation I_C augmente d'abord proportionnellement à la tension du condensateur U_C (voir fig. 3). Il augmente de moins en moins au fur et à mesure que U_C augmente et finit par atteindre une valeur de saturation (plateau). La valeur de saturation est d'autant plus élevée que la haute tension *U* du tube est grande. La tension du condensateur U_C à laquelle la valeur de saturation est atteinte, augmente elle aussi avec *U*.

b) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction du courant d'émission *I*:

Pour une haute tension *U* du tube constante, la valeur de saturation du courant d'ionisation I_C est en bonne approximation proportionnelle au courant d'ionisation *I* (voir fig. 4) et donc à l'intensité des rayons X incidents.

c) Courant d'ionisation de saturation I_C en fonction de la haute tension *U* du tube:

Au fur et à mesure que la haute tension *U* du tube augmente, le courant d'ionisation I_C augmente de manière surproportionnelle étant donné qu'il y a de plus en plus de quanta d'énergie de disponibles pour l'ionisation de l'air dans le condensateur à plaques (voir expérience P6.3.3.2).

Résultats

Le courant d'ionisation d'une chambre d'ionisation présente une caractéristique de saturation. La valeur de saturation du courant d'ionisation peut servir à quantifier l'action ionisante et donc l'intensité du rayonnement X.

Pour une haute tension constante du tube à rayons X, la valeur de saturation du courant d'ionisation est proportionnelle à l'intensité du rayonnement X. Au fur et à mesure que la haute tension du tube augmente, la valeur de saturation du courant d'ionisation augmente de manière surproportionnelle.

© by Leybold Didactic GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved